昆 虫 学 报 *Acta Entomologica Sinica*，December 2004，47(6)：719 – 724 ISSN 0454-6296

中华真地鳖的断足再生

谭梁飞，朱　芬，刘　静，周兴苗，雷朝亮*

（华中农业大学昆虫资源研究所，武汉　430070）

摘要：报道了中华真地鳖 *Eupolyphaga sinensis* Walker 的断足再生特征。研究结果表明，不同虫龄期的若虫都有断足再生能力；足的不同部位断足后均能再生；断掉不同数量的足后，只要能成活均可再生。断足再生后，继续断掉再生足的原位或其他部位也可以再生。再生足的跗节均比正常的少一节，具有再生不完整性。断足后，只要经 1～2 次蜕皮，均可再生。断掉一对足的腿节后，再生足出现大小不一的现象，小的一般发育不全，断足数量多容易出现再生足发育不全。再生足比正常足要小，但生长速度要快，断掉足的腿节或跗节后的再生足经过 2 次蜕皮后基本可恢复到正常足大小。

关键词：中华真地鳖；断足；再生；蜕皮

中图分类号：Q965　　**文献标识码**：A　　**文章编号**：0454-6296(2004)06-0719-06

Leg regeneration in *Eupolyphaga sinensis*（Blattodea：Corydiidae）

TAN Liang-Fei，ZHU Fen，LIU Jing，ZHOU Xing-Miao，LEI Chao-Liang*（Institute of Insect Resources，Huazhong Agricultural University，Wuhan 430070，China）

Abstract: Leg regeneration was found in *Eupolyphaga sinensis* Walker. The characteristics of the regeneration were examined. The results showed that nymphs at all the instars had regeneration ability and legs amputated at any site could regenerate. Regenerated legs could be amputated and regenerate again. Tarsus of the regenerated leg was one segment less than the normal tarsus，which had five segments. If two femurs matched were amputated，the regenerated legs usually developed uncompleted，and one regenerated leg was larger than the other. Generally，the regenerated legs were in smaller size and lighter color. But the growth rate of the regenerated legs was faster. Legs amputated from femur and tarsus，if regeneration occurred，could grow back to the normal size after two rounds of ecdysis.

Key words: *Eupolyphaga sinensis*；amputation；regeneration；ecdysis

躯体部分丧失再生在动物界中较为广泛，分布在腔肠动物（水螅纲）、爬行动物（蝾螈和壁虎）、环节动物（蚯蚓）及节肢动物之中，而以节肢动物断肢再生种类最为普遍。目前已知的有十足目 Decapoda 的虾和蟹，昆虫纲蜚蠊目的美洲大蠊 *Periplaneta americana*（L.）（Bodenstein，1962）、德国小蠊 *Blattella germanica*（O'Farrell and Stock，1953）、马德拉蜚蠊 *Leucophaea maderae*（Bohn，1974），竹节虫目的华枝䗛 *Sinophasma* spp.（陈树椿等，1999），蜻蜓目豆娘 *Ischnura cervula* 稚虫（Parvin and Cook，1968），直翅目的蟋蟀 *Acheta domestica*（Maleville and Reggi，1981），半翅目红腹猎蝽 *Rhodnius prolixus*（Knobloch and Steel，1988）和大马利筋长蝽 *Oncopeltus fasciatus*（Shaw and Bryant，1974），鳞翅目大蜡螟 *Galleria mellonella*（Madhavan and Schneiderman，1969）等。据王孟卿和彩万志（2004）统计，到目前为止能够断肢再生的昆虫至少有 11 目 35 属，其中蜚蠊目、半翅目、竹节虫目、直翅目、鳞翅目、蜻蜓目、蜉蝣目、鞘翅目等的种类在文献中出现较多。

在中华真地鳖 *Eupolyphaga sinensis* Walker 的人工饲养中，发现部分中华真地鳖缺失 1 只或 1 只以上的足，经过蜕皮后可以再生。无论是前足、中足还是后足，用外力拉扯时，均易在转节与腿节或胫节和跗节间折断。本文首次发现中华真地鳖有断足再生现象，通过对不同虫龄若虫断足后的再生，足的不同部位和不同数量的足断后再生，研究其再生特征，以及再生能力、再生足的生长发育及易断足的原因。

1　材料与方法

1.1　供试虫源

中华真地鳖 *E. sinensis* 采自湖北罗田县天堂

作者简介：谭梁飞，男，1979 年生，硕士生，研究方向为昆虫行为学，E-mail：tanliangfei@webmail.hzau.edu.cn

*通讯作者 Author for correspondence，E-mail：ioir@mail.hzau.edu.cn

收稿日期 Received：2004-04-29；接受日期 Accepted：2004-11-01

寨,于华中农业大学昆虫资源研究所养虫室内大量饲养。

1.2 饲养方法

饲养土为烘干的菜园土加锯木屑,绝对含水量为 15%。将配好的土放入一次性塑料杯(口径 7 cm,底径 4.5 cm,高 8 cm)中,在饲养基质表面放饲料,杯口加盖保鲜膜。30℃恒温饲养,每日观察记录蜕皮及断足再生情况。饲料为蛆粉+麦麸+猪饲料(1:2:7),每 100 g 再加干酵母片 0.6 g、复合维生素 B 片 0.3 g。

1.3 断足部位

中华真地鳖雌若虫 9~11 龄,雄若虫 7~9 龄。同一虫龄的地鳖虫个体大小不一,且雌若虫在较高虫龄比雄若虫略大,为便于测量,实验中均以雌虫为标准,用游标卡尺测量足的腿节、胫节、附节的长度和基节末端平行部位的宽度。

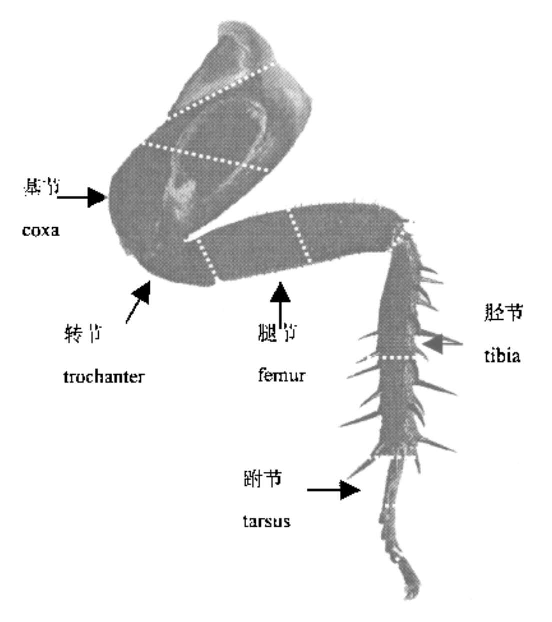


图 1 中华真地鳖的后足(虚线示断足部位)

Fig. 1 Hind leg of *Eupolyphaga sinensis* with dotted lines showing amputation sites of leg

选取 2~10 龄的若虫,每龄 5 头在转节与腿节间拉断,5 头在胫节与附节间拉断,5 头在腿节与胫节间拉断,共 27 组。

如图 1,将若虫的足在附节 1/3 处、附节 2/3 处及附节基部,腿节 1/2 处、腿节基部,胫节 1/2 处、胫节基部,基节 1/2 处、基节基部截去,每个处理 5 头,共 9 组。

选取不同虫龄的若虫,分别拉断 1 只足(分别为前足,中足,后足)、2 只足(分别为 1 对前足,1 对中足,1 对后足)、3 只足(1 对后足+1 只中足)、4 只足(1 对后足+1 对中足)、5 只足(1 对后足+1 对中足+1 只前足)、3 对足的腿节;以同样的处理方法拉断 1~6 只足的附节。每个处理均为 5 头,其中拉断 1 对后足腿节的处理头数在 10 头以上。

断足再生后,再将若虫的再生部位或其他部位截断。

2 结果与分析

2.1 若虫不同虫龄断足后的再生状况

不同虫龄若虫断掉一只后足腿节后,经过 1~2 次蜕皮均可再生,其中经过一次蜕皮后能再生的地鳖虫的再生足与正常足的大小比较见表 1。从表 1 可以看出,不同虫龄断足处理后,再生足与正常足的基节宽度比值都保持在 0.85 左右。腿节长度的差异以 6、7 龄断足处理时最小,再生足长约为正常足的 90%,在其他虫龄处理中,差异随处理虫龄的增大而逐渐增加,也随虫龄的减小而逐渐增加。胫节长度的差异以 5 龄处理时最小,附节长度的差异以 5、6 龄处理时最小,在其他虫龄的处理中,胫节和附节的变化趋势与腿节相似,都与虫龄相关。再生足的总长度以 5、6 龄处理时差异最小,再生足为正常足的 85%左右,9、10 龄处理时差异最大,再生足与正常足的比值约为 68%。

2.2 截肢部位对足再生的影响

6 龄若虫后足从附节基部、1/3 附节、2/3 附节,胫节基部、1/2 胫节,腿节基部、1/2 腿节,1/2 基节和基节基部处截去后,经过 1~2 次蜕皮均可再生,其中经过一次蜕皮后能再生的情况如表 2。在腿节1/2 处和胫节 1/2 处截去时,余下的半节均因感染而坏死。

从表 2 可以看出,在附节 1/3 处和附节 2/3 处截去后,再生足的附节分别只有正常足的 41%和 72%,其他各节与正常足大小一样。在附节处截去后,再生足的胫节比正常足的略短小,附节只有正常足的 76%,其他与正常足无差异。在胫节处截去后,再生足的腿节为正常足的 84%,胫节为正常足的 59%,附节为正常足的 34%,且再生足的附节长度的一半加上胫节的长度相当于腿节的长度。在腿节处截去后,再生足的基节为正常足的 89%,腿节为正常足的 92%,胫节为正常足的 90%,附节为正常足的 83%。在腿节处截去后的再生足的附节,比在附节处截去后的再生足的附节长。在基节 1/2 处截去后的再生足的基节,比原来未截去而余下的基

节的 1/2 略大，而其他部位均很小，只有正常足的 33%左右。在基节处截去后，再生足十分小，腿节和胫节只有正常足的 19%和 17%，甚至腿节和胫节合为 1 节，胫节不能活动，跗节缺失，但是再生足下次蜕皮后腿节和胫节又分开，且长出跗节。

表 1　不同虫龄期雌若虫断失一条后足后再生足(R)与正常足(N)的比较

Table 1　Comparison between regenerated leg (R) and normal leg (N) after one hindleg being amputated in different nymphal instars of female *Eupolyphaga sinensis*

处理虫龄 Instar tested	基节 Coxa 宽 Width (mm)	R/N	腿节 Femur 长 Length (mm)	R/N	胫节 Tibia 长 Length (mm)	R/N	跗节 Tarsus 长 Length (mm)	R/N	全足 Entire leg 长 Length (mm)	R/N
2 龄 2nd	R 0.6±0.1 N 0.7±0.1	0.86 bc	R 1.1±0.1 N 1.5±0.1	0.73 d	R 1.3±0.1 N 1.8±0.2	0.72 c	R 0.9±0.1 N 1.3±0.2	0.70 f	R 3.3±0.4 N 4.5±0.4	0.73 d
3 龄 3rd	R 1.0±0.2 N 1.2±0.2	0.83 ef	R 2.2±0.2 N 2.7±0.3	0.81 c	R 2.0±0.2 N 2.9±0.3	0.69 d	R 1.3±0.2 N 1.7±0.3	0.76 d	R 5.5±0.7 N 7.3±0.9	0.75 c
4 龄 4th	R 1.2±0.2 N 1.5±0.3	0.80 g	R 2.5±0.3 N 3.0±0.3	0.83 b	R 2.5±0.3 N 3.1±0.3	0.81 b	R 1.5±0.2 N 2.1±0.3	0.71 ef	R 6.5±0.9 N 8.2 1.0	0.79 b
5 龄 5th	R 1.4±0.2 N 1.7±0.2	0.82 f	R 2.7±0.2 N 3.2±0.3	0.84 b	R 2.8±0.2 N 3.3±0.4	0.85 a	R 2.0±0.3 N 2.3±0.3	0.87 a	R 7.5±0.9 N 8.8±1.1	0.85 a
6 龄 6th	R 1.7±0.2 N 1.9±0.3	0.89 a	R 3.1±0.3 N 3.5±0.4	0.89 a	R 3.2±0.3 N 4.0±0.5	0.80 b	R 2.3±0.4 N 2.7±0.4	0.85 b	R 8.6±1.0 N 10.2±1.4	0.84 a
7 龄 7th	R 2.1±0.2 N 2.5±0.3	0.84 cd	R 3.8±0.4 N 4.2±0.5	0.90 a	R 3.5±0.4 N 5.0±0.6	0.70 d	R 2.8±0.5 N 3.4±0.6	0.82 c	R 10.1±1.2 N 12.6±1.8	0.80 b
8 龄 8th	R 2.6±0.3 N 3.0±0.3	0.87 b	R 4.3±0.3 N 5.4±0.3	0.80 c	R 4.3±0.5 N 6.2±0.7	0.69 d	R 3.6±0.5 N 5.1±0.8	0.71 ef	R 12.2±1.5 N 16.7±2.0	0.73 d
9 龄 9th	R 2.3±0.3 N 2.7±0.4	0.85 cd	R 4.8±0.2 N 6.1±0.4	0.80 c	R 4.7±0.5 N 7.6±0.8	0.62 f	R 3.7±0.5 N 5.5±0.9	0.67 g	R 13.2±1.8 N 19.2±2.3	0.69 e
10 龄 10th	R 3.1±0.3 N 3.6±0.4	0.86 bc	R 5.3±0.3 N 7.6±0.4	0.70 e	R 5.9±0.6 N 9.2±0.8	0.64 e	R 4.4±0.7 N 6.0±0.9	0.72 e	R 15.6±1.8 N 22.8±2.4	0.68 e

表中数据为平均值±标准误，数据后有不同字母表示差异显著($P<0.05$)，后同。The data in the table show mean ± *SE*, and those followed by different letters are significantly different at $P<0.05$. The same for the following table.

表 2　6 龄若虫后足不同部位截去后再生足与正常足的比较

Table 2　Comparison of regenerated and normal hindleg of the sixth instar nymph after being amputated at different sites

断足部位 Amputation site of leg	基节 Coxa 宽 Width (mm)	R/N	腿节 Femur 长 Length (mm)	R/N	胫节 Tibia 长 Length (mm)	R/N	跗节 Tarsus 长 Length (mm)	R/N
正常 Normal	1.9±0.2		3.7±0.3		4.1±0.4		2.9±0.3	
1/3 跗节 1/3 tarsus	1.9±0.2	1.00 a	3.7±0.3	1.00 a	4.1±0.3	1.00 a	1.2±0.2	0.41 d
2/3 跗节 2/3 tarsus	1.9±0.2	1.00 a	3.7±0.3	1.00 a	4.1±0.3	1.00 a	2.2±0.2	0.72 c
跗节 Tarsus	1.9±0.2	1.00 a	3.7±0.4	1.00 a	3.9±0.2	0.95 b	2.2±0.3	0.76 b
胫节 Tibia	1.9±0.2	1.00 a	3.1±0.3	0.84 c	2.4±0.2	0.59 d	1.0±0.2	0.34 e
腿节 Femur	1.7±0.2	0.89 b	3.4±0.3	0.92 b	3.7±0.3	0.90 c	2.4±0.3	0.83 a
1/2 基节 1/2 coxa	1.0±0.1	0.53 c	1.2±0.2	0.32 d	1.4±0.2	0.34 e	1.0±0.1	0.34 e
基节 Coxa	0.5±0.1	0.26 e	0.7±0.1	0.19 e	0.7±0.1	0.17 f	0	0 f

2.3　断足数量对足再生的影响

5 龄若虫不同数量的足从跗节或腿节断掉后，经过 1~2 次蜕皮后，再生情况如表 3。从表 3 可以看出，断掉地鳖虫的 1~6 只足的跗节或 1~4 只足的腿节后，均可再生。在断腿节的处理中，断足数量超过 2 对后，因为活动能力减弱而死亡。说明断足数量对再生能力有一定影响。

表 3　5 龄若虫不同数量足跗节或腿节的断后再生

Table 3　Regeneration of legs amputated from tarsus or femur in different amounts in the fifth instar nymph

断足部位 Amputation site	1 只左或右后足 One of hindlegs	1 对后足 Two hindlegs	1 对后足+1 只中足 Two hindlegs and one midleg	1 对后足+1 对中足 Two hindlegs and midlegs	1 对后足+1 对中足+1 只前足 Two hindlegs, midlegs and one foreleg	3 对足 Three pairs of legs
跗节 Tarsus	再生 Yes	再生 Yes	再生 Yes	再生 Yes	再生 Yes	再生 Yes
腿节 Femur	再生 Yes	再生 Yes	再生 Yes	再生 Yes	死亡 Died	死亡 Died

10龄若虫($n = 10$)同时断掉1对后足后,其中有40%的1对再生足大小不一,与正常足的大小比较见表4。从表4可以看出同时断掉1对后足后,再生足大小不同,再生足的基节一样大,为正常足的86%;腿节分别为正常足的68%和59%;胫节分别为正常足的64%和48%;跗节分别为正常足的73%和42%。实验中还发现小的再生足一般暗化较慢,甚至不能正常鞣化并暗化,而在以后的活动中脱落,这种情况以胫节较明显,跗节最明显。

表4 10龄若虫的1对再生后足(R)与正常足(N)的大小比较

Table 4 Comparison between two regenerated (R) and normal (N) hindlegs in the tenth instar nymph

后足 Hindleg	基节 Coxa		腿节 Femur		胫节 Tibia		跗节 Tarsus	
	宽 Width (mm)	R/N	长 Length (mm)	R/N	长 Length (mm)	R/N	长 Length (mm)	R/N
正常 Normal	3.6±0.4		7.8±0.6		9.2±0.8		6.0±0.5	
再生(左) Regenerated (left)	3.1±0.3	0.86 a	5.3±0.4	0.68 a	5.9±0.6	0.64 a	4.4±0.3	0.73 a
再生(右) Regenerated (right)	3.1±0.3	0.86 a	4.6±0.3	0.59 b	4.4±0.4	0.48 b	2.5±0.2	0.42 b

2.4 断足再生的特征

断足后的地鳖虫经过1次或2次蜕皮后,足均可再生。刚蜕皮的地鳖虫为白色,再生足较正常足小且色浅,暗化速度慢,最后颜色仍然比正常足浅。断掉任何足的腿节后,余下的转节可活动,若该虫龄末期时转节不能活动,则蜕皮后断足能再生,否则蜕皮后不能再生,但转节可活动;若下一虫龄末时转节不能活动,则下次蜕皮后断足可再生。

将断足再生后的地鳖虫,再次断掉足的再生部位或其他足,仍然可以再生。

中华真地鳖的跗节为5-5-5式,所有再生足的跗节都只有4节,其中第1、5跗节与正常足一样,仍较长,缺失的是第2、3、4跗节中的一节(图2: A, B),到成虫时跗节仍然是4节。

将若虫的1只左后足自腿节处和右后足自胫节处同时断去,蜕皮后再生,右后足腿节的截肢点处产生了大小不一的双重再生足(图2: C)。双重再生可能是再生过程中,有2个再生细胞同时发育,但只有1个细胞优先发育,导致出现一大一小的2只再生足。这种情况的出现概率十分小。

断掉后足基节后,甚至会出现再生足的腿节和胫节合为1节,胫节不能活动,跗节丢失(图2: D),不过下次蜕皮后又可恢复正常;断掉后足跗节的2/3,再生足的前跗节缺失(图2: A),同样下次蜕皮后前跗节长出。断掉后足腿节后可再生(图2: E),断掉后足胫节后也可再生(图2: C,F)。

在断3只足腿节的处理中,断1对后足(该虫龄的前期)和右中足(该虫龄的后期),右边的再生后足发育不良,而断足晚的再生右中足未再生(图2: G)。

3 讨论

昆虫的足由于其结构特性,容易在转节与腿节及胫节和跗节之间发生断肢。对地鳖虫后足进行解剖观察表明,由于基节与转节,腿节与胫节,胫节与跗节之间为可活动部位,均通过两组肌肉与下一节的两个内骨骼的肌肉着生点相连来控制足的活动,而转节与腿节不能活动也无内骨骼仅有节间膜连接,连接不紧密,因此转节与腿节之间易断掉,而跗节由于太细也易断。中华真地鳖不同虫龄若虫的足在不同部位截去后均可以再生,之后继续在原位或其他部位折断,仍然可以再生,说明它总是要保证肢体的基本完整性。但是,再生足的跗节均比正常的少一节,并且以后不能恢复正常节数,因而又具有再生不完整性。

断足后,若从断足到蜕皮的时间较短,一次蜕皮后未能再生;若从断足到蜕皮的时间较长,一次蜕皮能再生。这可能是若虫要愈合伤口,积累营养,进行足再生发育,因此出现龄期延长的现象,相关的研究正在进一步深入中。

不同虫龄若虫断足后均可再生,只与蜕皮次数和每龄的断足时间先后有关。在同一龄中,断足早的可再生,断足晚的则不能再生,说明其可能存在一个临界期,在此之前断足可再生,之后则不能再生。再生与蜕皮激素有关(Knobloch and Steel, 1988),断足早,蜕皮激素未分泌,能再生;而断足晚,蜕皮激素已分泌,无法进行再生发育,蜕皮后不能再生。

一对后足的腿节断后,有40%的再生足出现了一大一小的现象,且在以后的虫龄内依然是大小不一。小的再生足比大的再生足恢复到相应虫龄正常

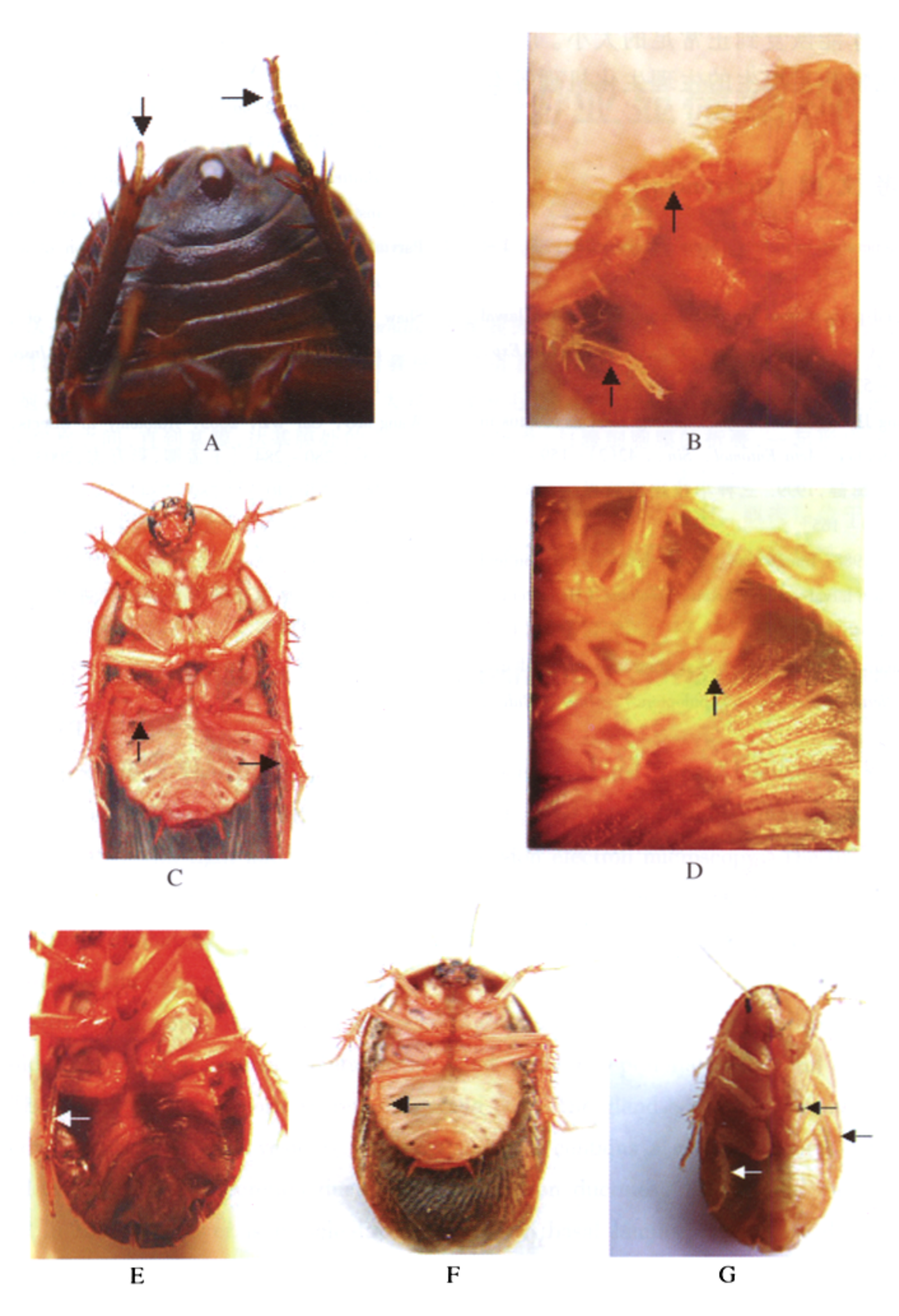


图 2　中华真地鳖的断足再生特征

Fig. 2　The characteristics of regenerated legs of *Eupolyphaga sinensis*

A. 后足跗节左 1/3 处(左)和右 2/3 处(右)断后的再生 Regeneration of the tarsus of hindlegs, amputated by one third (left) and two third (right); B. 中足、后足自腿节处断后的再生 Regeneration of medleg and hindleg amputated from femur (incomplete regeneration); C. 后足自腿节处(左)和胫节处(右)的断后再生 Regeneration of hindlegs amputated from femur (left) and tibia (right); D. 右后足基节断后再生 Regeneration of right hindleg amputated from coxa; E. 左后足腿节断后再生 Regeneration of left hind leg amputated from femur; F. 左后足胫节断后再生 Regeneration of left hindleg amputated from tibia; G. 后足腿节(一对,断足早)和右中足腿节(断足晚)断后的再生 Regeneration of two hindlegs amputated early from femur and right medleg amputated late from femur.

足的大小,经过的蜕皮次数要多。发育不全的现象以断足数量越多越明显。断一对足时,可能由于在同一体节,要同时通过血淋巴供应 2 个再生部位的营养物,导致营养不足,致使其中 1 只再生足发育不良。断 1 只足时,对应的正常足也会出现部分节位发育不良、且暗化缓慢。这些均可说明营养不足导致了再生足大小不一、发育不全。断足后的再生足比正常足要小,但断掉腿节或跗节经过 2 次蜕皮后基本可恢复到正常足大小,而断掉其他部位要经过 2 次以上蜕皮才可以恢复到正常足大小,再生足的生长速度比正常足要快,并具有协调性。每蜕 1 次皮,再生足就与正常足的大小接近一些,因此要经过

一定次数的蜕皮后才能恢复到正常足的大小。

有关中华真地鳖断足再生的生理生化机理等有待进一步研究。

参 考 文 献（References）

Bodenstein D，1962. Regeneration in insects. *Symp. Genet. Biol.*，9：1－19.

Bohn H，1974. Extent and properties of the regeneration field in the larval legs of cockroaches（*Leucophaea maderae*）. *J. Embryol. Exp. Morphol.*，31：557－572.

Chen SC，Chen PC，Wang JJ，1999. A study on the regeneration of artus in genus *Sinophasma* Günther. *Acta Entomol. Sin.*，42(2)：159－165. [陈树椿，陈培昶，王缉健，1999. 三种华枝䗛断肢再生的研究. 昆虫学报，42(2)：159－165]

Knobloch CA，Steel CGH，1988. Interactions between limb regeneration and ecdysteroid titres in last larval instar *Rhodnius prolixus*（Hemiptera）. *J. Insect. Physiol.*，34：507－514.

Madhavan K，Schneiderman HA，1969. Hormonal control of imaginal disc regeneration in *Galleria mellonella*（Lepidoptera）. *Biol. Bull.*，*Woods Hole*，137：321－331.

Maleville A，Reggi M，1981. Influence of leg regeneration on ecdysteroid titres in *Acheta* larvae. *J. Insect Physiol.*，27：35－40.

O' Farrell AF，Stock A，1953. Regeneration and the molting cycle in *Blattella germanica* L. Ⅰ. Single regeneration initiated during the first instar. *Austral. J. Biol. Sci.*，6：486－500.

Parvin DE，Cook PJr，1968. Regeneration of appendages in damselflies. *Ann. Ent. Soc. Am.*，61：784－785.

Shaw VK，Bryant PJ，1974. Regeneration of appendages in the large milkweed bug，*Oncopeltus fasciatus*. *J. Insect Physiol.*，20：1 847－1 857.

Wang MQ，Cai WZ，2003. Autotomy in insects. *Entomol. Knowl.*，40(3)：280－284. [王孟卿，彩万志，2003. 昆虫的肢体自残现象. 昆虫知识，40(3)：280－284]

Wang MQ，Cai WZ，2004. Research advances on insect appendage regeneration. *Entomol. Knowl.*，41(2)：127－131. [王孟卿，彩万志，2004. 昆虫肢体再生的研究进展. 昆虫知识，41(2)：127－131]

（责任编辑：袁德成）